



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**
⑩ **DE 195 36 180 C 2**

⑤① Int. Cl.⁷:
A 61 B 6/02
A 61 B 6/12
A 61 B 19/00

⑳ Aktenzeichen: 195 36 180.6-35
㉔ Anmeldetag: 28. 9. 1995
㉕ Offenlegungstag: 12. 6. 1997
㉖ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 8. 5. 2003

DE 195 36 180 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
BrainLAB AG, 85551 Kirchheim, DE

⑦④ Vertreter:
Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München

⑥② Teil in: 195 49 711.2

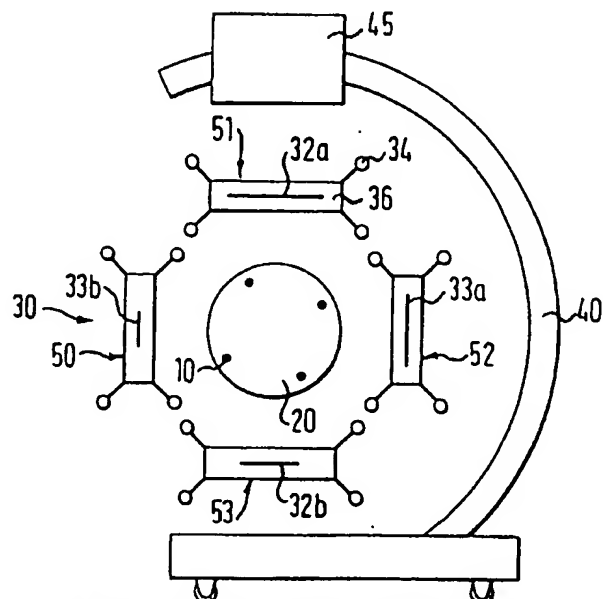
⑦② Erfinder:
Vilsmeier, Stefan, 85586 Poing, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
US 53 97 329
US 53 09 913
"Computerized Medical Imaging and Graphics",
Vol.
18, Nr.4, 1994;
"A frameless stereotactic approach to neurosurgical
planning based on retrospective patient-image re-
gistration", J. Neurosurg 79, 296-303, 1993;

⑤④ **Verfahren und Vorrichtungen zur Lokalisierung eines Instruments**

⑤⑦ Verfahren zur Lokalisierung eines Instruments relativ zu dreidimensionalen Körperdaten, insbesondere zur Stereotaxie, das aus folgenden Schritten besteht:
a) eine interne Markereinrichtung wird zur Festlegung eines körperinternen, räumlichen Bezugssystems fest mit dem Körper verbunden,
b) eine Analyse-Abtastung des Körpers einschließlich der internen Markereinrichtung wird durchgeführt, um die Positionen der bei der Analyse-Abtastung gewonnenen dreidimensionalen Körperdaten in dem durch die interne Markereinrichtung festgelegten, körperinternen Bezugssystem zu bestimmen,
c) ein Referenz-Schritt wird durchgeführt, wobei Lage und Orientierung des durch die interne Markereinrichtung festgelegten körperinternen Bezugssystems relativ zu einem durch eine externe Markereinrichtung festgelegten körperexternen Bezugssystems bestimmt wird und wobei die externe Markereinrichtung sich außerhalb des Körpers in einer festen räumlichen Beziehung zu diesem befindet,
d) die Lage und Orientierung eines Instruments im körperexternen Bezugssystem wird mit Hilfe der externen Markereinrichtung und einer am Instrument angebrachten Instrumenten-Markereinrichtung bestimmt, und
e) aus Lage und Orientierung des Instruments im körperexternen Bezugssystem wird die Lage und Orientierung des Instruments im körperinternen Bezugssystem über die durch Schritt c) bekannte Beziehung zwischen dem körperinternen und körperexternen Bezugssystem berechnet, wobei der Referenz-Schritt eine Referenz-Abtastung der internen Markereinrichtung und der externen Markereinrichtung umfasst, und wobei die externe Markereinrichtung eine erste externe Markereinrichtung und eine zweite externe Markereinrichtung aufweist, deren relative räumliche Position zueinander festgelegt ist und die jeweilig ein erstes und ein zweites körperexternes Bezugssystem bestimmen, die ineinander ruhen, wobei die erste Markereinrichtung durch die Referenz-Abtastung abtastbar ist, um somit die relative Lage des körperinternen Bezugssystems zu dem ersten körperexternen Bezugssystem festzulegen, und die zweite Markereinrich-

tung durch eine Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung abtastbar ist, um so die Lage und Orientierung des Instruments in dem zweiten körperexternen Bezugssystem festzulegen.



DE 195 36 180 C 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Vorrichtungen zur Lokalisierung eines Instruments relativ zu dreidimensionalen Körperdaten und eine Markervorrichtung zur Festlegung eines körperfesten Bezugssystems nach dem Oberbegriff der Ansprüche 1, 14 und 18.

[0002] Das erfindungsgemäße Verfahren, die erfindungsgemäße Markervorrichtung und die Referenzierungsvorrichtung finden insbesondere Anwendung in der Stereotaxie und bei anderen orthopädischen oder neurochirurgischen Eingriffen, z. B. an der Wirbelsäule.

[0003] Um z. B. die Lage eines Tumors in einem Gehirn zu lokalisieren, werden dreidimensionale Abtastungen des menschlichen Gehirns z. B. mittels Computertomographie (CT) oder Kernspinsresonanz-Tomographie (NMR) angewandt. Bei einem Eingriff in das Gehirn, z. B. zur Entfernung eines Tumors, ist es notwendig, die genaue Position des Instruments relativ zu dem Tumor zu wissen. Hierzu werden stereotaktische Verfahren angewandt.

[0004] Bei herkömmlichen stereotaktischen Operationen wird ein stereotaktisches Gerät verwendet. Dieses weist einen Rahmen auf, der auf den Schädel aufgeschraubt wird. An diesem Rahmen befindet sich ein Bogen, der über den Schädel des Patienten gespannt ist. An diesem Bogen ist verschieblich das Instrument befestigt, um somit die Orientierung des Instruments relativ zum Schädel zu verändern. Aus dieser Orientierung und der Eindringtiefe des Instruments läßt sich die Position der Instrumentenspitze im Schädel bestimmen. Diese Position kann dann mit den aus der CT oder NMR gewonnenen Daten verknüpft werden, um so die Position des Tumors möglichst zielgenau zu erfassen.

[0005] Damit ein fester Bezug zwischen dem stereotaktischen Gerät und den bei der dreidimensionalen Analyse-Abtastung gewonnenen Daten hergestellt wird, ist es notwendig, den Rahmen vor der Analyse-Abtastung, d. h. vor der CT oder der NMR-Tomographie an dem Kopf des Patienten festzuschrauben. Da dieser Rahmen relativ schwer ist und eine starre Verbindung mit dem Kopf gewährleistet werden muß, ist eine feste Verankerung im Schädel notwendig. Dies ist jedoch für den Patienten schmerzhaft. Darüberhinaus muß dieser Rahmen nicht nur während der Analyse-Abtastung, sondern bis zur Operation vom Patienten getragen werden. Schließlich stört das stereotaktische Gerät die dreidimensionale Analyse-Abtastung und behindert chirurgische Eingriffe. Außerdem ist es relativ umständlich, einen vorher bestimmten Punkt im Gehirn des Patienten mittels des stereotaktischen Geräts anzuzeigen, was die Operationsdauer verlängert.

[0006] Um diese Nachteile zu überwinden werden sogenannte rahmenlose oder "frameless" stereotaktische Methoden vorgeschlagen und praktiziert. Verschiedene derartige Verfahren sind z. B. aus "Computerized Medical Imaging and Graphics", Vol. 18, Nr. 4, 1994 bekannt. Diese verwenden z. B. anatomische Landmarken wie Nasenwurzel oder Knochennähte, im Schädel implantierte Schrauben, die aus dem Kopf heraus hervorstehen, oder auf dem Kopf aufgeklebte Markierungspunkte. Die Erfassung der Position der Markierungspunkte im Raum bzw. ein sogenanntes "teach in" wird dann z. B. mittels eines Roboterarms durchgeführt. Die Position der Spitze des Roboterarms wird aus den Verdrehungen der Gelenke des Roboterarms berechnet und die zuvor genannten Marken werden von dem Roboterarm angefahren, um die Position der Marker mittels eines Programms zu erfassen. Operiert wird dann, indem ein Instrument mit der Spitze des Roboterarms verbunden und die relative Lage der Instrumentenspitze zur Spitze des Roboterarms bestimmt wird. Somit läßt sich die Position der Instru-

mentenspitze mit den bei der Analyse-Abtastung gewonnenen Daten in Beziehung setzen und z. B. auf einem Bildschirm die Lage der Instrumentenspitze relativ zu den Markern neben den zuvor durch die dreidimensionale Analyse durch Abtastung gewonnenen Daten zeigen.

[0007] Nachteilig an der Verwendung anatomischer Landmarken ist jedoch, dass diese unscharf sind und ein "teach in" ohne Perforation der Haut nur sehr unzulänglich möglich ist. Implantierte Schrauben haben den Nachteil, dass sie von dem Zeitpunkt der Analyse-Abtastung bis zum Ende der Operation im Schädel eingesetzt bleiben müssen. Dies erschwert eine vollständige Desinfizierung des Schädels vor der Operation und erhöht somit Infektionsrisiken während der Operation. Das Aufkleben von Markierungspunkten auf der Haut hat schließlich den Nachteil, dass sich die Haut relativ zum Schädel zwischen der Analyse-Abtastung und der Operation verschieben kann. D. h. es ist nur eine sehr ungenaue Bestimmung der Position des Instruments relativ zu dem bei der Analyse-Abtastung gewonnenen Daten möglich.

[0008] Um das Anbringen von Markern zu umgehen, ist ein weiteres Verfahren aus "A frameless stereotactic approach to neurosurgical planning based on retrospective patient-image registration", J. Neurosurg 79, 296-303, 1993 bekannt. Hierbei wird ein dreidimensionales Modell der Kopfoberfläche in einem Computer gespeichert. Jedoch werden auch hiermit aufgrund der möglichen Hautverschiebungen nur Genauigkeiten von typischerweise 3 bis 8 mm erreicht.

[0009] Aus US 5,397,329 ist ein Implantat bekannt, das durch ein Abbildungssystem detektierbar ist. Die Erfindung besteht aus einem ersten Abschnitt und einem zweiten Abschnitt. Der erste Abschnitt ist so konfiguriert, dass es durch ein Abbildungssystem detektiert werden kann, wenn es unterhalb der Haut platziert wird. Der zweite Abschnitt ist so konfiguriert, dass es zum Anbringen an einem Knochen unterhalb der Haut geeignet ist.

[0010] Aus US 5,309,913 ist ein stereotaktisches System bekannt. Bei diesem System wird der Kopf des Patienten fixiert. Wenigstens drei Marker werden am Patienten befestigt. Eine Transformation zwischen dem Koordinatensystem des Patienten und demjenigen der Bilddaten wird durchgeführt.

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und Vorrichtungen zur genauen Lokalisierung eines Instruments relativ zu mittels Analyse-Abtastung gewonnenen dreidimensionalen Körperdaten bereitzustellen, wobei gleichzeitig das Risiko von Infektionen und die Belastung für den Patienten minimiert werden sollen.

[0012] Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände bzw. Verfahren der Ansprüche 1, 14 und 18 gelöst.

[0013] Die Unteransprüche sind auf zweckmäßige Ausführungsformen der Erfindung gerichtet.

[0014] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Lokalisierung eines Instruments relativ zu dreidimensionalen Körperdaten bereitgestellt. Dieses Verfahren kann z. B. für stereotaktische Operationen verwendet werden. Es läßt sich aber auch für beliebige andere Operationen am menschlichen oder tierischen Körper einsetzen, insbesondere bei orthopädischen oder neurochirurgischen Eingriffen. Die dreidimensionalen Körperdaten werden mittels Analyse-Abtastung, also z. B. mittels Computertomographie (CT) und/oder Kernspintomographie (NMR) gewonnen.

[0015] Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird eine interne Markereinrichtung im Körper implantiert.

[0016] Vorteilhaft erfolgt dies so, daß die interne Markereinrichtung unter der Haut liegt und vorzugsweise am Skelett, z. B. dem Schädel befestigt wird. Eine derartige Befes-

stigung kann z. B. erfolgen, indem ein Gewindesackloch in das Skelett eingebracht wird oder der Marker einfach in den Knochen, z. B. mittels Cortikalschraube, eingeschraubt werden.

[0017] Dadurch daß die Marker vor einer Analyse-Abtastung des Körpers, z. B. des Kopfes, durch z. B. CT, unter die Haut implantiert werden, ist eine Desinfizierung des zu operierenden Körperteils vor der Operation ohne Probleme möglich.

[0018] Vorteilhaft werden die internen Marker der internen Markereinrichtung klein und kugelförmig ausgebildet. Dies ermöglicht einerseits eine genaue Positionsbestimmung der Marker bei der Analyse-Abtastung und andererseits wird der erforderliche Eingriff in den Körper minimiert, so daß die Marker unter Lokalanästhesie ohne besondere Belastung des Patienten implantiert werden können.

[0019] Dadurch daß die Marker im Körper implantiert, also fest mit diesem verbunden sind, ist es möglich, bei der Durchführung einer Analyse-Abtastung nacheinander eine CT-Aufnahme und eine NMR-Aufnahme zu machen und die somit gewonnenen Daten zu kombinieren, da bei geeigneter Wahl des Markermaterials der Marker sowohl bei der Computertomographie als auch bei der Kernspintomographie nachweisbar ist. Die somit gewonnenen Daten können demnach kombiniert werden, um die dreidimensionalen Körperdaten der Analyse-Abtastung zu erhalten.

[0020] Als geeignetes Material wird vorzugsweise Titan verwendet. Es ist jedoch auch möglich, die Marker aus verschiedenen Materialien zu kombinieren, die entweder einen optimalen Nachweis für die Kernspinresonanz-Tomographie oder für die Computertomographie gewährleisten. Werden andere Analyse-Abtastverfahren verwendet, so weisen die Marker vorteilhaft dafür optimale geeignete Materialien auf.

[0021] Es werden mindestens drei Marker mit bekannter relativer Position zueinander verwendet, um ein dreidimensionales körperinternes Bezugssystem festzulegen. Es können jedoch auch natürlich mehr Marker verwendet werden, um eine Korrelation mit dem später beschriebenen körperexternen Bezugssystem zu erleichtern und um Fehler bei der Markerpositionsbestimmung durch die Verwendung mehrerer Markerpositionsdaten, z. B. nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate zu minimieren.

[0022] Vorteilhaft an der Implantation einer internen Markereinrichtung unter die Haut ist auch, daß diese Markereinrichtung auch nach der Operation von dem Patienten problemlos weiter mit sich herumgetragen werden kann. Dies bedeutet, daß bei Nachfolgeuntersuchungen der Erfolg der Operation genau überwacht werden kann. Denn die bei der Nachfolgeuntersuchung gewonnenen Meßdaten können genau mit den vor der Operation gewonnenen Meßdaten korreliert werden. Die Implantation der Markereinrichtung erlaubt somit die genaue Verfolgung einer Krankengeschichte und insbesondere die genaue Beobachtung der weiteren Krankheitsentwicklung, also z. B. der Entwicklung eines Tumors.

[0023] Alternativ zur vollständigen Implantation der internen Markereinrichtung unter die Haut kann z. B. auch nur eine Verankerung für die interne Markereinrichtung im Skelett unter der Haut implantiert werden. Eine Halteeinrichtung für eine Markereinrichtung wird dann bei Bedarf in der Verankerung lösbar befestigt. Somit kann ein für jede Analyse-Abtastungsuntersuchungsart geeignetes Material flexibel gewählt werden. Weiter läßt sich die Halteeinrichtung aus der Verankerung nach der Untersuchung wieder vom Patienten entfernen. Dies bedeutet, daß auch in diesem Falle vor der Operation eine gründliche Desinfizierung des zu operierenden Körperteils möglich ist, da die Verankerung vollstän-

dig unter der Haut implantiert ist. Nach der Desinfizierung und vor der Operation wird dann der für die Verankerung vorgesehene Einsatz, der die Halteeinrichtung und eine Markereinrichtung aufweist, vorteilhaft einrastend wieder an der Verankerung befestigt. Dabei nimmt die Markereinrichtung wieder die gleiche Position relativ zum Skelett ein, wie während der Analyse-Abtastung.

[0024] Nach der Implantation einer internen Markereinrichtung wird, wie oben bereits erwähnt, eine Analyse-Abtastung des Körpers einschließlich der internen Markereinrichtung durchgeführt. Dabei wird, z. B. mit Hilfe eines Computers und geeigneter Software, die Position der durch die Analyse-Abtastung gewonnenen dreidimensionalen Körperdaten relativ zu den körperinternen Markerpositionen bestimmt. Dadurch ist z. B. die Lage und die Ausdehnung eines Tumors in dem durch die interne Markereinrichtung festgelegten Bezugssystem bestimmt.

[0025] In einem nächsten Schritt, der Referenzschritt genannt wird, wird durch die Bestimmung der Position von externen Markern einer externen Markereinrichtung die Lage und Orientierung eines körperexternen Bezugssystems relativ zu dem körperinternen Bezugssystem bestimmt, um eine Koordinatentransformation zwischen den beiden Bezugssystemen zu ermöglichen. Dabei wird die externe Markereinrichtung in einer festen räumlichen Beziehung zu der internen Markereinrichtung gehalten. Deshalb erfolgt dieser Schritt vorteilhaft vor der Operation, aber nachdem der zu operierende Körperteil fixiert ist.

[0026] Ein derartiger Referenzschritt kann z. B. dadurch durchgeführt werden, indem die internen Marker als Verankerungen ausgebildet sind, in die von außen durch die Haut hindurch vorteilhafterweise lösbar und einrastend ein Einsatz befestigt wird. Dieser Einsatz steht aus der Haut hervor und weist außerhalb des Körpers eine externe Markereinrichtung auf. Durch die Befestigung der externen Markereinrichtung über die Halteeinrichtung an der internen Markereinrichtung wird somit eine feste räumliche Beziehung zwischen der externen und der internen Markereinrichtung hergestellt, die durch die Ausführung der verwendeten Einzelteile bestimmt und bestimmbar ist. In diesem Fall ist sogar eine Fixierung des zu operierenden Körperteils erlässlich.

[0027] Alternativ hierzu kann der Referenzschritt eine weitere Abtastung umfassen, die im folgenden Referenz-Abtastung genannt wird. Durch diese Referenz-Abtastung kann eine direkte mechanische Verbindung zwischen der internen und der externen Markereinrichtung vermieden werden und trotzdem die relative Beziehung zwischen einem körperinternen und einem körperexternen Bezugssystem bestimmt werden.

[0028] Dazu weist die externe Markereinrichtung vorteilhaft zwei Markereinrichtungen auf, nämlich eine erste externe Markereinrichtung und eine zweite externe Markereinrichtung. Die erste externe Markereinrichtung ist dabei so ausgebildet, daß sie zusammen mit der internen Markereinrichtung mittels der Referenz-Abtastung abgetastet werden kann. Damit wird eine Beziehung zwischen einem ersten externen Bezugssystem, das durch die erste externe Markereinrichtung festgelegt ist, und dem körperinternen Bezugssystem bestimmt. Zwischen der zweiten externen Markereinrichtung und der ersten externen Markereinrichtung wird vorteilhaft eine feste mechanische Beziehung hergestellt, die eine Umrechnung der in das erste körperexterne Bezugssystem transformierten Daten in das zweite externe Bezugssystem, das durch die zweite externe Markereinrichtung festgelegt ist, erlaubt.

[0029] Die zweite externe Markereinrichtung ist so ausgebildet, daß das mit ihr verbundene zweite externe Bezugssy-

stem leicht durch eine Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung erfaßt werden kann. Auf das Verfahren zur Instrumentenpositions-Bestimmung wird weiter unten noch eingegangen.

[0030] Es ist nun denkbar, die Marker der ersten externen Markereinrichtung zusammen mit den Markern der internen Markereinrichtung wiederum durch eine dreidimensionale Abtastung wie z. B. eine CT zu bestimmen. Vorteilhaft werden jedoch Röntgenaufnahmen aus wenigstens zwei verschiedenen Richtungen gemacht, um die Position der internen Marker relativ zu den ersten externen Markern zu bestimmen. Dadurch ist es z. B. mittels eines mobilen und drehbaren C-Bogens möglich, kurz vor der Operation oder auch noch während der Operation, wenn der zu operierende Körperteil bereits fixiert ist, die Position der internen Marker relativ zu den externen Markern zu bestimmen. Der C-Bogen läßt sich nach der erfolgten Bestimmung einfach wieder wegfahren, so daß eine ungehinderte Operation möglich ist.

[0031] Die externe Markereinrichtung ist dabei vorteilhaft so aufgebaut, daß wenigstens drei Markerpositionen bei jeder Röntgenaufnahme erfaßt werden. Prinzipiell genügt es zwar bereits, wenn insgesamt, also durch sämtliche Röntgenaufnahmen, drei Markerpositionen erfaßt werden, jedoch muß dann die Orientierung bzw. die Aufnahmerichtung der Röntgenaufnahme relativ zur externen Markereinrichtung genau bekannt sein. Werden aber jeweils wenigstens drei Markerpositionen bestimmt, die vorteilhaft nicht in einer Ebene liegen und deren relative Position zueinander bekannt ist, so läßt sich hieraus die Aufnahmerichtung der erfolgten Röntgenaufnahme zurückrechnen. Um diese Aufnahmerichtung der Röntgenaufnahme möglichst genau zu bestimmen, befinden sich deshalb vorteilhaft vor und hinter dem zu untersuchenden Körperteil externe Marker der ersten externen Markereinrichtung, die bei einer Röntgenaufnahme erfaßt werden.

[0032] Wie bereits oben erwähnt, genügen zwei Röntgenaufnahmen aus unterschiedlichen Richtungen, um hieraus die räumliche Position der internen Marker relativ zu den externen Markern, z. B. mittels geeigneter Software zu berechnen. Auf diese Weise ist eine präzise Transformation der bei der Analyse-Abtastung gewonnenen Körperdaten von dem internen Bezugssystem in das erste externe Bezugssystem möglich.

[0033] Die erste externe Markereinrichtung und die zweite externe Markereinrichtung ist vorteilhaft durch einen Abstandhalter verbunden, der die Röntgenaufnahmen nicht stört. Dazu werden z. B. die ersten externen Marker in Plexiglas eingegossen und die zweiten externen dann an dem Plexiglas angebracht.

[0034] Ist, wie oben beschrieben, eine Beziehung zwischen dem körperinternen Bezugssystem und dem körperexternen Bezugssystem hergestellt, so wird in einem nächsten Schritt die Lage des Instruments im körperexternen Bezugssystem bestimmt. Dies kann auf herkömmliche Weise unter Abtastung der Positionen der externen Marker und der Position des Instruments geschehen, wie dies z. B. in "Computerized Medical Imaging and Graphics", Vol. 18, Nr. 4, beschrieben ist. Auch die Verwendung von Ultraschallsendern als Marker und die Anbringung von Ultraschallsendern an dem Instrument sind bekannt.

[0035] Neben diesen aktiven Markern, wie z. B. Infrarot-LEDs oder Ultraschallsendern, können vorzugsweise auch passive Marker verwendet werden.

[0036] Bevorzugt werden als Reflektoren ausgebildete passive Marker eingesetzt, die Infrarotstrahlung reflektieren. Diese Infrarotstrahlung wird von der Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung ausgesandt, vorzugsweise in

Gestalt von Infrarotblitzen. Die reflektierten Infrarotstrahlen werden von drei Infrarotkameras erfaßt. Aus den Signalen wird die Position des Instruments bestimmt. Dazu wird die bekannte relative Position der externen Marker zueinander verwendet.

[0037] Ein Vorteil dieser passiven Marker ist, daß das Instrument nicht mit Strom versorgt werden muß und somit keine Leckströme auftreten, und daß sie getrennt von Leitungen völlig unabhängig bewegbar ist. Dies erleichtert die Handhabung und die Desinfizierung des verwendeten Instruments.

[0038] Nachteilig bei der Verwendung von Magnetfeldern zur Instrumentenpositionsbestimmung ist, daß alle sonstigen medizinischen Geräte abgeschirmt werden müssen und daß die Bestimmung relativ ungenau ist. Bei der Verwendung von Ultraschall können Meßfehler aufgrund von Temperaturdifferenzen zwischen Sender und Empfänger auftreten.

[0039] An dem Instrument sind vorzugsweise wenigstens zwei Marker angebracht, um die Neigung des Instruments zu bestimmen. Der Abstand zwischen der Instrumentenspitze und den Markern ist bekannt. Ist die Instrumentenspitze z. B. gekröpft, so werden wenigstens drei Marker am Instrument angebracht, um hieraus nicht nur die Orientierung sondern auch noch die Verdrehung des Instruments zu bestimmen. Damit ist es wiederum möglich, die Lage der Instrumentenspitze zu berechnen.

[0040] Es ist vorteilhaft, Reflexions-Marker mit möglichst großer, kugelförmiger Oberfläche einzusetzen, da bei der optischen Erfassung der Reflexionskugeln durch die Infrarotkameras aus dem erfaßten Umfang der Reflexionskugeln auf deren Mittelpunkt jeweils zurückgerechnet wird.

[0041] Um bei der Verwendung von z. B. nur zwei Markern am Instrument zu bestimmen, auf welcher Seite des Instruments sich die Instrumentenspitze befindet, kann zu Beginn der Operation eine Kalibrierung vorgenommen werden. Z. B. hält der Operateur bei dieser Kalibrierung das Instrument in Richtung auf den Patienten. Von da ab wird dann die Bewegung des Instruments verfolgt und die Position der Instrumentenspitze bestimmt. Auch können Marker unterschiedlicher Form oder Größe oder mit unterschiedlichen Reflexionseigenschaften, z. B. bezüglich der reflektierten Wellenlänge oder der reflektierten Intensität verwendet werden, um aus einem Vergleich der beiden unterschiedlichen Marker zu bestimmen, in welche Richtung das Instrument zeigt.

[0042] Ist dann schließlich mit Hilfe der Instrumentenbestimmungseinrichtung die Position der Instrumentenspitze im zweiten externen Bezugssystem festgelegt, so läßt sich mit Hilfe von Koordinatentransformationen die Lage der Instrumentenspitze relativ zu den bei der Analyse-Abtastung gewonnenen Körperdaten bestimmen.

[0043] Mit Hilfe von Computern und geeigneter Software läßt sich somit für einen Operateur in Echtzeit die Position und Orientierung der Instrumentenspitze, z. B. in 3D, relativ zu den Körperdaten, also relativ z. B. zu dem Tumor, auf einem Bildschirm darstellen.

[0044] Die Genauigkeit der Positionsbestimmung der Instrumentenspitze relativ zu den dreidimensionalen Körperdaten, die durch das oben beschriebene Verfahren und mit Hilfe der oben beschriebenen Vorrichtungen erzielbar ist, liegt in der Größenordnung von 0,1 mm. Das erfindungsgemäße Verfahren ist damit erheblich exakter als die bisher bekannten Verfahren. Darüberhinaus ist es für den Patienten wenig belastend. Das Infektionsrisiko wird minimiert. Schließlich wird die Arbeit des Operateurs erleichtert, da ihn das erfindungsgemäße Lokalisierungsverfahren weniger behindert.

[0045] Eine weitere Erleichterung für den Operateur läßt sich dadurch erreichen, indem nach erfolgter Referenzierung zwischen der internen und externen Markereinrichtung (erste und zweite externe Markereinrichtung) eine weitere Referenzierung zu einer dritten externen Markereinrichtung erfolgt. Diese dritte externe Markereinrichtung weist vorteilhaft einen ähnlichen Aufbau wie die zweite externe Markereinrichtung auf.

[0046] Die dritte externe Markereinrichtung kann von der ersten und zweiten externen Markereinrichtung entfernt liegen und damit außerhalb des Operationsbereichs. Die Referenzierung kann z. B. wieder auf optischem Wege mit Hilfe einer Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung erfolgen. Ist die Referenzierung erfolgt und der zu operierende Körperteil fixiert, so kann die erste und zweite Markereinrichtung entfernt werden, um den Zugang zum Operationsgebiet noch weiter zu erleichtern.

[0047] Auch kann die dritte externe Markereinrichtung an dem zu operierenden Körperteil befestigt werden, z. B. durch Kleben, Festklemmen oder mittels einer Haube. Dadurch wird es möglich, daß der zu operierende Körperteil, z. B. der Kopf, während der Operation bewegt werden kann. Denn die Veränderung der Lage und Orientierung der dritten externen Markereinrichtung wird ständig durch die Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung erfaßt.

[0048] Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele gemäß der Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei werden weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung offenbart. Es zeigen:

[0049] Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Vorrichtung zur Referenzierung des internen Bezugssystems zu dem externen Bezugssystem mit Hilfe eines C-Bogens;

[0050] Fig. 2 eine schematische Darstellung einer bei einer Referenzabastung gewonnenen Röntgenaufnahme;

[0051] Fig. 3 eine schematische Darstellung eines implantierten Markers; und

[0052] Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Markervorrichtung mit einem lösbaren Einsatz und einer Verankerungseinrichtung.

[0053] Soweit im folgenden gleiche Bezugszeichen verwendet werden, bezeichnen diese gleiche oder funktionsgleiche Teile.

[0054] In der Fig. 1 ist eine Vorrichtung zur Referenzierung des körperinternen Bezugssystems mit dem körperexternen Bezugssystem gezeigt. Das zu untersuchende Körperteil 20, z. B. ein Kopf, ist im Querschnitt gezeigt und durch einen Kreis dargestellt. In diesem sind interne Marker 10 implantiert. Außerhalb des Kopfes 20 befindet sich die externe Markereinrichtung 30. Diese besteht aus vier Teilen 50, 51, 52, 53 von denen jeweils ein Teil oberhalb 51, unterhalb 53 und zwei seitlich 50, 52 vom Kopf einander gegenüberliegend, jeweils um ca. 90° um den Kopf herum winkelig beabstandet, angeordnet sind. Jedes dieser Teile weist ein Kupfergitter 32 (erste externe Markereinrichtung) auf, das z. B. mittels eines Wasserstrahls aus einem Kupferblech geschnitten wird. Das Kupfergitter 32 ist in einem Plexiglasblock 36 (Abstandshalter) eingegossen. Es ist so angeordnet, daß die vier Ecken des Kupfergitters bei einer Röntgenaufnahme zusammen mit den internen Markern mit erfaßt werden.

[0055] Der Kopf wird z. B. mittels eines Mayfield-Adapters (nicht gezeigt) vor den Röntgenaufnahmen fixiert, um eine feste räumliche Beziehung zwischen den internen und externen Markern zu gewährleisten.

[0056] Die Röntgenaufnahme erfolgt mittels eines C-Bogens 40, dessen Röntgengerät 45 entlang des Umfangs des zu untersuchenden Körperteils bewegbar ist. In der in Fig. 1 gezeigten Stellung wird bei einer Röntgenaufnahme sowohl

das Kupfergitter 32a als auch das in Röntgenaufnahmeorientierung hinter dem zu untersuchenden Körperteil gelegene Kupfergitter 32b erfaßt. Die Kupfergitter 32a und 32b sind vorzugsweise von einer unterschiedlichen Größe, damit deren Eckpunkte sich bei einer Röntgenaufnahme nicht überlappen. Zu der zweiten Röntgenaufnahme wird das Röntgengerät 45 entlang des C-Bogens 40 verfahren, um dann das zu untersuchende Körperteil so zu durchleuchten, daß die Kupfergitter 33a und 33b miterfaßt werden.

[0057] Die erste externe Markereinrichtung, die gemäß des Ausführungsbeispiels durch Kupfergitter gebildet wird, wird vorzugsweise durch einen für die Röntgenaufnahme durchsichtigen Abstandshalteeinrichtung mit der zweiten externen Markereinrichtung verbunden. In diesem Falle handelt es sich dabei um Plexiglasblöcke.

[0058] An dieser Abstandshalteeinrichtung ist vorzugsweise in bekannter räumlicher Anordnung die zweite externe Markereinrichtung angebracht. Besteht die erste externe Markereinrichtung aus mehreren Teilen 32a, 32b, 33a, 33b z. B. vier, wie dies im Ausführungsbeispiel der Fall ist, so wird vorzugsweise jedem Teil eine zweite externe Markereinrichtung zugeordnet, die zu diesem Teil in einer festen räumlichen Beziehung steht. In dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 sind hierzu als zweite externe Markereinrichtung jeweils vier Markerkugeln 34 fest mit den Plexiglasblöcken 36 verbunden. Auf diese Weise ist es möglich, jeden einzelnen Plexiglasblock und damit das darin enthaltene Kupfergitter variabel in eine bestimmte Stellung zu bringen und diese Stellung dann aufgrund der Marker 34 für jeden Plexiglasblock bzw. für jedes Kupfergitter einzeln mit Hilfe der Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung zu bestimmen. Dies ermöglicht eine für die jeweilige Position geeignete Anpassung der Anordnung der externen Markereinrichtung.

[0059] Wahlweise können natürlich die Plexiglasblöcke zueinander in einer starren räumlichen Beziehung stehen, indem sie z. B. auf einem Ring angeordnet sind. In diesem Fall genügt es, wenigstens drei Marker der zweiten externen Markereinrichtung mit dem Ring oder den Plexiglasblöcken zu verbinden.

[0060] Fig. 2 zeigt schematisch ein bei dem Referenzschritt gewonnenes Röntgenbild. Dabei ist strichliert der Umriss des zu untersuchenden Körperteils 20 gezeigt. Die internen Marker 10 sind punktförmig eingezeichnet. Auf dem Röntgenbild 48 sind die beiden Kupfergitter 32a und 32b zu sehen. Zur Auswertung werden die Eckpunkte der Kupfergitter 32a und 32b verwendet. Aus der relativen Lage der Eckpunkte des Kupfergitters 32a zu den Eckpunkten des Kupfergitters 32b läßt sich die Richtung errechnen, aus der die Röntgenaufnahme erfolgt ist. Diese Richtung geht dann wieder bei der Verwertung der aus zwei Richtungen erfolgenden Röntgenaufnahmen mit ein, um die Lage der Eckpunkte der Kupfergitter relativ zu den internen Markern zu bestimmen. Die beiden Aufnahmeorientierungen sind vorzugsweise zueinander senkrecht.

[0061] Die Position der Eckpunkte der Kupfergitter relativ zu den Positionen der jedem Plexiglasteil zugeordneten Marker 34 ist festgelegt. Dadurch läßt sich mit Hilfe der Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung die Lage jedes Eckpunktes eines jeden Kupfergitters 32 im Operationssaal bestimmen. Werden Marker geeignet am Instrument angebracht, so läßt sich auch die Position der Instrumentenspitze im Operationssaal bestimmen. Somit sind ausreichend Informationen vorhanden, um mit Hilfe von Koordinatentransformationen die Position der Instrumentenspitze relativ zu den bei der Analyse-Abtastung gewonnenen Körperdaten zu berechnen.

[0062] Werden passive Marker verwendet, so wird vor-

zugsweise eine Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung auf Infrarotbasis eingesetzt. Diese sendet vorzugsweise Infrarotblitze aus. Diese werden von den Markern 34 reflektiert. Die Reflexion wird von wenigstens drei Infrarotkameras erfaßt, um die Position der Marker zu berechnen. Die Marker 34 sind vorzugsweise kugelförmig und weisen einen Durchmesser von z. B. 15 mm auf.

[0063] Fig. 3 zeigt einen implantierten Marker 10 mit einem Schraubgewinde 12. Dieses Schraubgewinde 12 ist in einen Knochen 22 eingeschraubt. Der Marker 10 befindet sich unterhalb der Haut 24 und wurde zuvor unter Lokalanästhesie mit Hilfe eines kleinen Einschnitts in den Knochen 22 eingeschraubt.

[0064] Fig. 4 zeigt eine Markereinrichtung, die eine Verankerungseinrichtung 12 mit zylinderförmigem Schaft sowie einen Einsatz 14, 16 aufweist. Die Verankerungseinrichtung 12 wird im Skelettknochen 22 z. B. mittels eines Gewindes 13 unterhalb der Haut 24 befestigt. Sie kann z. B. aus Titan, Kohlefasern oder Keramik bestehen.

[0065] Die Verankerung 12 kann nun wahlweise als Marker ausgebildet sein oder rein der Verankerung dienen. Ist sie als Marker ausgebildet, so kann sie z. B. aus Titan sein. Wahlweise (nicht gezeigt) könnte die Verankerung 12 mit einer Markerkugel fest verbunden sein. In die Verankerung 12 kann z. B. eine nadelförmige Halteeinrichtung 14 paßgenau eingesetzt werden. Hierbei kann die Passung so gewählt werden, daß die Halteeinrichtung 14 einerseits wieder lösbar ist und andererseits ein fester Sitz gewährt wird. Auch eine lösbar einrastende Verbindungsart kann gewählt werden. Mit der Halteeinrichtung 14 kann z. B. ein Trichter 16 verbunden sein. Dieser ermöglicht bei mechanischer Abtastung des Trichters 16 und der Orientierung der Nadel 14, daß aus der Länge der Nadel 14 die Position der Verankerung 12 berechenbar ist, wenn diese als Marker ausgebildet ist.

[0066] Alternativ (nicht gezeigt) läßt sich an der Halteeinrichtung 14 außerhalb der Haut 24 ein externer Marker befestigen. Dabei kann je nach Art der gewählten Untersuchungsmethode (CT, Röntgenaufnahmen oder NMR) ein geeigneter Marker mit der Halteeinrichtung 14 verbunden werden. Die Positionen der externen Marker können durch beliebige "teach-in"-Verfahren erfaßt werden.

[0067] Die Halteeinrichtung 14 läßt sich auf einfache Weise vor einer Analyse-Abtastung in den Kopf einsetzen und mit einem geeigneten externen Marker, z. B. eine Titankugel, versehen. Nach der Abtastung läßt sich die Halteeinrichtung 14 auf einfache Weise wieder aus der Verankerung lösen. Dadurch kann der zu untersuchende Körperteil vor der Operation ohne Probleme desinfiziert werden. Um einen Bezug zu den bei der Analyse-Abtastung gewonnenen Körperdaten herzustellen, wird dann vor der Operation die Halteeinrichtung 14 wieder eingesetzt und mit einem geeigneten externen Marker (z. B. eine Reflektorkugel) versehen. Da die Positionen dieser externen Marker mit den Positionen der externen Marker der Analyse-Abtastung übereinstimmen, ist eine direkte Zuordnung der bei der Analyse-Abtastung gewonnenen Daten möglich. Eine Referenzierung zwischen den externen Markern während der Operation und dem Instrument erfolgt dann wiederum über eine Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung.

[0068] Sind auch die Verankerungen der Verankerungseinrichtungen als Marker ausgebildet, so kann bei Nachfolgeuntersuchungen ein Einsetzen des Einsatzes 14, 16 vermieden werden. Denn es genügt für den Vergleich verschiedener Untersuchungsergebnisse von dreidimensionalen Analyse-Abtastungen, daß die internen Marker (hier die Verankerungen) sich immer an der gleichen Stelle befinden. Wahlweise können die Verankerungen z. B. auch aus Kunststoff gebildet sein, in dem Markerkugeln (z. B. Titankugeln)

eingelassen sind.

Patentsprüche

1. Verfahren zur Lokalisierung eines Instruments relativ zu dreidimensionalen Körperdaten, insbesondere zur Stereotaxie, das aus folgenden Schritten besteht:

a) eine interne Markereinrichtung wird zur Festlegung eines körperinternen, räumlichen Bezugssystems fest mit dem Körper verbunden,

b) eine Analyse-Abtastung des Körpers einschließlich der internen Markereinrichtung wird durchgeführt, um die Positionen der bei der Analyse-Abtastung gewonnenen dreidimensionalen Körperdaten in dem durch die interne Markereinrichtung festgelegten, körperinternen Bezugssystem zu bestimmen,

c) ein Referenz-Schritt wird durchgeführt, wobei Lage und Orientierung des durch die interne Markereinrichtung festgelegten körperinternen Bezugssystems relativ zu einem durch eine externe Markereinrichtung festgelegten körperexternen Bezugssystems bestimmt wird und wobei die externe Markereinrichtung sich außerhalb des Körpers in einer festen räumlichen Beziehung zu diesem befindet,

d) die Lage und Orientierung eines Instruments im körperexternen Bezugssystem wird mit Hilfe der externen Markereinrichtung und einer am Instrument angebrachten Instrumenten-Markereinrichtung bestimmt, und

e) aus Lage und Orientierung des Instruments im körperexternen Bezugssystem wird die Lage und Orientierung des Instruments im körperinternen Bezugssystem über die durch Schritt c) bekannte Beziehung zwischen dem körperinternen und körperexternen Bezugssystem berechnet, wobei der Referenz-Schritt eine Referenz-Abtastung der internen Markereinrichtung und der externen Markereinrichtung umfasst, und wobei die externe Markereinrichtung eine erste externe Markereinrichtung und eine zweite externe Markereinrichtung aufweist, deren relative räumliche Position zueinander festgelegt ist und die jeweilig ein erstes und ein zweites körperexternes Bezugssystem bestimmen, die ineinander ruhen, wobei die erste Markereinrichtung durch die Referenz-Abtastung abtastbar ist, um somit die relative Lage des körperinternen Bezugssystems zu dem ersten körperexternen Bezugssystem festzulegen, und die zweite Markereinrichtung durch eine Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung abtastbar ist, um so die Lage und Orientierung des Instruments in dem zweiten körperexternen Bezugssystem festzulegen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die interne Markereinrichtung unter der Haut implantiert wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die interne Markereinrichtung am Skelett befestigt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die interne Markereinrichtung aus mindestens drei internen Markern zur Festlegung eines körperinternen, räumlichen Bezugssystems besteht.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die internen Marker kugelförmig sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die internen Marker aus einem Material bestehen, dass sowohl in der Analyse-Abtastung als auch in der Referenz-Abtastung nachweisbar ist. 5
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die internen Marker aus Titan bestehen.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die relative Lage der ersten externen Markereinrichtung zur zweiten externen Markereinrichtung mittels einer für Röntgenstrahlung durchsichtigen Abstandshalteeinrichtung festgelegt wird. 10
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenz-Abtastung durch mindestens zwei Röntgenaufnahmen aus verschiedenen, bekannten Richtungen erfolgt, wobei insgesamt mindestens drei das erste körperexterne Bezugssystem festlegende Positionen der ersten externen Markereinrichtung zusammen mit der internen Markereinrichtung abgetastet werden. 15 20
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenz-Abtastung durch mindestens zwei Röntgenaufnahmen aus verschiedenen, nicht notwendigerweise genau bekannten Richtungen erfolgt, wobei bei jeder Röntgenaufnahme jeweils mindestens drei das erste körperexterne Bezugssystem festlegende Positionen der ersten externen Markereinrichtung zusammen mit der internen Markereinrichtung abgetastet werden. 25 30
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die erste externe Markereinrichtung mit glasartigem Material verbundene metallische Marker aufweist.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die metallischen Marker Kupferrahmen bilden, wobei jeweils ein Kupferrahmen in einen Plexiglasblock gegossen ist, und die Plexiglasblöcke so angeordnet werden, dass bei jeder Röntgenaufnahme ein in Aufnahme-richtung vor dem Körper gelegener Kupferrahmen und ein in Aufnahme-richtung hinter dem Körper gelegener Kupferrahmen zusammen mit der internen Markereinrichtung abgetastet wird, wobei die zweite externe Markereinrichtung an den Plexiglasblöcken befestigt ist. 35 40 45
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite externe Markereinrichtung sowie die Instrumenten-Markereinrichtung optische Infrarot-Reflektoren aufweist und die Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung mindestens drei Infrarotkameras aufweist sowie Infrarotstrahlung aussendet. 50
14. Markervorrichtung zur Festlegung eines körperfesten Bezugssystems, insbesondere zur Verwendung in dem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 55
- a) mit einer unter der Haut implantierbaren, im Skelett befestigbaren Verankerungseinrichtung,
 - b) mit einem Einsatz, der eine Halteeinrichtung und eine Markereinrichtung aufweist, 60
 - c) wobei die Halteeinrichtung lösbar in der Verankerungseinrichtung befestigbar ist und
 - d) die Markereinrichtung mit der Halteeinrichtung außerhalb des Körpers lösbar verbindbar ist.
15. Markervorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Halteeinrichtung eine Perforationseinrichtung aufweist, um die Haut zum Befestigen der Halteeinrichtung auf einfache Weise durchdringen 65

zu können.

16. Markervorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Halteeinrichtung an ihrem vom Körper abgewandten Ende zur Aufnahme kugelförmiger, auswechselbarer Marker ausgebildet ist.

17. Markervorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Verankerungseinrichtung eine interne Markereinrichtung aufweist.

18. Vorrichtung, um ein körperexternes Bezugssystem mit einem körperinternen Bezugssystem in Beziehung zu setzen, insbesondere zur Verwendung in dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, gekennzeichnet durch

- a) eine erste externe Markereinrichtung, die Marker aufweist, deren Position durch Röntgenaufnahmen abtastbar ist, die außerhalb eines zu untersuchenden mit internen Markern versehenen Körpers liegen und die ein erstes körperexternes Bezugssystem durch ihre bekannte relative Lage zueinander festlegen,

- b) eine Abstandshalteeinrichtung, die für Röntgenstrahlung durchsichtig ist und

- c) eine zweite externe Markereinrichtung, die mittels der Abstandshalteeinrichtung relativ zu der ersten externen Markereinrichtung in einer bekannten, festen Position gehalten wird und die Marker aufweist, deren außerhalb des Körpers gelegene Position durch eine Instrumentenpositions-Bestimmungseinrichtung bestimmbar ist und die durch ihre relative Lage zueinander ein zweites körperexternes Bezugssystem festlegen, das in dem ersten körperexternen Bezugssystem ruht.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten externen Marker so angeordnet werden, dass bei mindestens zwei aus unterschiedlichen Richtungen erfolgenden Röntgenaufnahmen, jeweils wenigstens drei Marker abgetastet werden, die das körperexterne Bezugssystem festlegen.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens drei Marker bei einer Röntgenaufnahme abgetasteten Marker entlang des Umfangs des zu untersuchenden Körpers sich einander gegenüberliegend verteilt sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

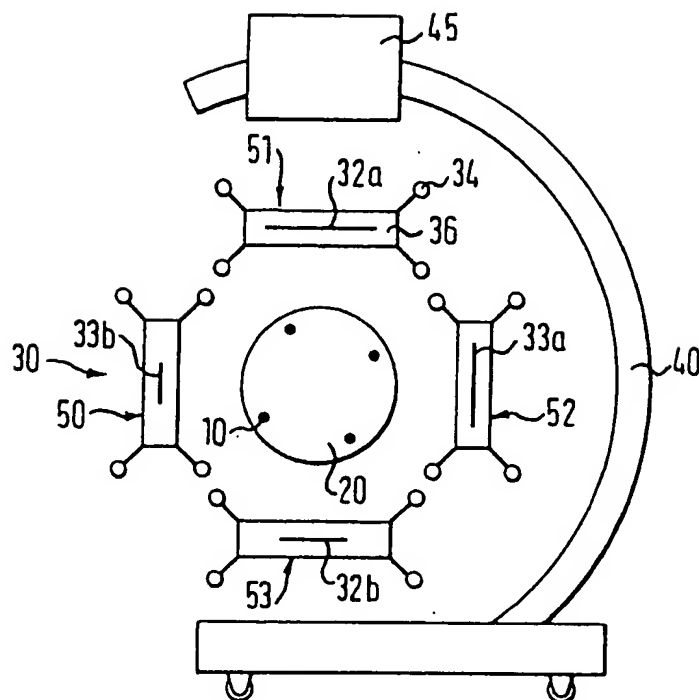


FIG. 2

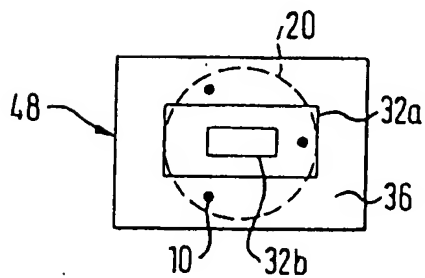


FIG. 3

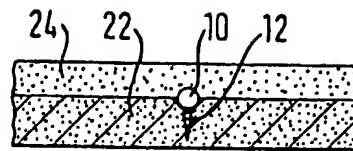


FIG. 4

